



**PATENT APPLICATION**

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re application of

Docket No: Q72568

Takashi UDAGAWA

Appln. No.: 10/689,024

Group Art Unit: 2811

Confirmation No.: 4493

Examiner: Not Yet Assigned

Filed: October 21, 2003

For: GROUP-III NITRIDE SEMICONDUCTOR DEVICE, PRODUCTION METHOD  
THEREOF AND LIGHT-EMITTING DIODE

**SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Submitted herewith is a certified copy of the priority document on which a claim to  
priority was made under 35 U.S.C. § 119. The Examiner is respectfully requested to  
acknowledge receipt of said priority document.

Respectfully submitted,

Abraham J. Rosner  
Registration No. 33,276

SUGHRUE MION, PLLC  
Telephone: (202) 293-7060  
Facsimile: (202) 293-7860

WASHINGTON OFFICE

**23373**

CUSTOMER NUMBER

Enclosures: JAPAN 2002-306722

Date: February 6, 2004



日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 2 年 1 0 月 2 2 日  
Date of Application:

出 願 番 号                      特 願 2 0 0 2 - 3 0 6 7 2 2  
Application Number:  
[ST. 10/C]:                      [ J P 2 0 0 2 - 3 0 6 7 2 2 ]

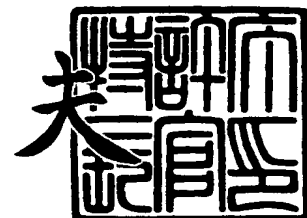
出      願      人                      昭和電工株式会社  
Applicant(s):



2 0 0 3 年    7 月 2 9 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 11H140337

【提出日】 平成14年10月22日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明の名称】 I I I 族窒化物半導体素子、その製造方法および発光ダイオード

【請求項の数】 8

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県秩父市大字下影森 1 5 0 5 番地 昭和電工株式会社 研究開発センター内

【氏名】 宇田川 隆

【特許出願人】

【識別番号】 000002004

【氏名又は名称】 昭和電工株式会社

【代理人】

【識別番号】 100064908

【弁理士】

【氏名又は名称】 志賀 正武

【選任した代理人】

【識別番号】 100108578

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 詔男

【選任した代理人】

【識別番号】 100089037

【弁理士】

【氏名又は名称】 渡邊 隆

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100101465

【弁理士】

【氏名又は名称】 青山 正和

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100094400

【弁理士】

【氏名又は名称】 鈴木 三義

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100107836

【弁理士】

【氏名又は名称】 西 和哉

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100108453

【弁理士】

【氏名又は名称】 村山 靖彦

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008707

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9704938

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 III族窒化物半導体素子、その製造方法および発光ダイオード

【特許請求の範囲】

【請求項1】 結晶基板と、同結晶基板上に気相成長された導電性のIII族窒化物半導体 ( $Al_xGa_yIn_{1-(x+y)}N$ :  $0 \leq x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ , 及び  $0 < x + y \leq 1$ ) 結晶層と、オーミック電極とを具備するIII族窒化物半導体素子であって、前記III族窒化物半導体結晶層と前記オーミック電極との中間に、導電性のリン化硼素結晶層が設けられ、該リン化硼素結晶層に接触させてオーミック電極が備えられていることを特徴とするIII族窒化物半導体素子。

【請求項2】 前記III族窒化物半導体結晶層と前記リン化硼素結晶層との中間に、硼素とリンとを含む非晶質層が設けられていることを特徴とする請求項1に記載のIII族窒化物半導体素子。

【請求項3】 前記リン化硼素結晶層が、不純物を故意に添加していないアンドープの導電層から構成されており、且つ前記III族窒化物半導体層と同一の伝導形を呈することを特徴とする請求項1または2に記載のIII族窒化物半導体素子。

【請求項4】 前記III族窒化物半導体結晶層の  $\{0.0.0.1.\}$  - 結晶面側に、前記リン化硼素結晶層が設けられており、該リン化硼素結晶層が導電性の  $\{111\}$  - 結晶層であることを特徴とする請求項1乃至3の何れか1項に記載のIII族窒化物半導体素子。

【請求項5】 前記リン化硼素結晶層の内部に、リン化硼素結晶層の  $\langle 111 \rangle$  - 結晶方位に積層欠陥、または  $\{111\}$  - 結晶面を双晶面とする双晶が含まれていることを特徴とする請求項1乃至4の何れか1項に記載のIII族窒化物半導体素子。

【請求項6】 前記リン化硼素結晶層の内部の貫通転位及びミスフィット転位の合計の密度が  $1 \times 10^4$  個/cm<sup>2</sup> 以下であることを特徴とする請求項1乃至5の何れか1項に記載のIII族窒化物半導体素子。

【請求項7】 前記結晶基板上に、前記III族窒化物半導体結晶層と前記リン化硼素結晶層とを、有機金属化学的気相堆積法により形成させることを特徴と

する請求項 1 乃至 6 に記載の III 族窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 8】 p n 接合型のダブルヘテロ接続構造であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 に記載の III 族窒化物半導体素子からなる発光ダイオード。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、結晶基板上に III 族窒化物半導体 ( $Al_xGa_yIn_{1-(x+y)}$  N :  $0 \leq x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ 、及び  $0 < x + y \leq 1$ ) 結晶層を有し、接触抵抗の小さいオーミック電極を備えた III 族窒化物半導体素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

III 族窒化物半導体素子の一例として、従来より、窒化ガリウム (Ga N) 系発光ダイオード (LED) やレーザダイオード (LD)、並びにショットキー (Schottky) 接触型電界効果型トランジスタ (MESFET) が知られている (例えば、特許文献 1 参照)。これらの素子は、窒化アルミニウム・ガリウム・インジウム ( $Al_aGa_bIn_cN$  :  $0 \leq a, b, c \leq 1$ 、 $a + b + c = 1$ ) 混晶等からなる機能層を備えた積層構造体を基に構成されている (例えば、特許文献 2 参照)。例えば、室温での禁止帯幅を約 3.4 eV とする Ga N を含む窒化ガリウム・インジウム混晶 ( $Ga_bIn_cN$  :  $0 < b, c < 1$ 、 $b + c = 1$ ) は短波長 LED または LD 用途の発光層として利用されている (例えば、特許文献 3 参照)。積層構造体をなす一部の機能層には、オーミック性接触するオーミック電極を設けて素子が形成されている。例えば、n 形の窒化ガリウム (Ga N) 電子供給層の表面上にチタン (Ti) ・アルミニウム (Al) を重層させたオーミック性ソース (source) 及びドレイン (drain) 電極を設けて高移動度型の電界効果型トランジスタが形成されている (例えば、非特許文献 1 参照)。

【0003】

また、上記の如くの III 族窒化物半導体素子を構成する  $Al_aGa_bIn_cN$  ( $0 \leq a, b, c \leq 1$ 、 $a + b + c = 1$ ) 混晶層は、従来、サファイア ( $\alpha$ -A

12O<sub>3</sub>) を基板として堆積されている (例えば、特許文献4 参照)。しかし、サファイアと  $Al_aGa_bIn_cN$  ( $0 \leq a, b, c \leq 1$ 、 $a+b+c=1$ ) 混晶等との格子のミスマッチ (mismatch) は大きい。例えば、サファイアとウルツ鉱 (Wurtzite) 結晶型 GaN との格子ミスマッチ度は約 16% と大である (非特許文献2 参照)。このため、例えば、サファイア基板上に成長させた窒化ガリウム層の内部には、両者間の大きな格子ミスマッチに起因して、約  $1 \times 10^5$  個/cm<sup>2</sup> 程度の多量の転位が含まれるに至っている (非特許文献3 参照)。

#### 【0004】

##### 【特許文献1】

米国特許第 6,069,021 号明細書

##### 【特許文献2】

特開平 10-56202 号公報

##### 【特許文献3】

特公昭 55-3834 号公報

##### 【特許文献4】

特開平 10-107315 号公報

##### 【非特許文献1】

赤崎勇編著、「アドバンスト・エレクトロニクス I-21 III 族窒化物半導体」、初版、(株) 培風館、1999 年 12 月 8 日、p. 288-289

##### 【非特許文献2】

イサム・アカザキ、ヒロシ・アマノ、ヤスオ・コイデ、カズマサ・ヒラマツ、ノブヒコ・サワキ (Isamu AKASAKI, Hiroshi AMANO, Yasuo KOIDE, Kazumasa HIRAMATSU, and Nobuhiko SAWAKI)、  
「エフェクツ オブ  $AlN$  バッファー レイヤー オン クリスタログラフィック ストラクチャー アンド  
オン エレクトリカル アンド オプティカル プロパティーズ オブ  $GaN$   
アンド  $Ga_{1-X}Al_XN$  ( $0 < X \leq 0.4$ ) フィルムズ グロウン  
オン サファイア サブストレート バイ MOVPE. (EFFECTS OF  $AlN$  BUF

FER LAYER ON CRYSTALLOGRAPHIC STRUCTURE AND ON ELECTRICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF GaN AND Ga<sub>1-X</sub>Al<sub>X</sub>N(0<X≤0.4) FILMS GROWN ON SAPPHIRE SUBSTRATE BY MOVPE)」、ジャーナル・オブ・クリスタル・グロース (Journal of Crystal Growth)、1989年、(オランダ)、第98巻、p. 209-219

【非特許文献3】

赤崎勇編著、「アドバンスト・エレクトロニクスⅠ-21 III族窒化物半導体」、初版、(株)培風館、1999年12月8日、p. 211-213

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、例えば、六方晶ウルツ鉱結晶型のGaNの室温での禁止帯幅が約3.4 eVと高い様に、オーミック性接触電極を設ける必要のあるIII族窒化物半導体(A<sub>1-a</sub>Ga<sub>b</sub>In<sub>c</sub>N: 0≤a, b, c≤1、a+b+c=1) 混晶層は一般に禁止帯幅が高い。

このため、接触抵抗(contact resistance)の十分に低いオーミック電極を得ることが困難であった。さらに、サファイア基板上に成長させたA<sub>1-a</sub>Ga<sub>b</sub>In<sub>c</sub>N結晶層では、結晶内に高密度で存在する転位を介して素子動作電流の短絡が発生するため、耐圧特性に優れるオーミック電極を形成できない問題点があった。

【0006】

本発明は、かかる従来技術の問題点に鑑みてなされたものであり、接触抵抗が低く、局所的な耐圧不良を伴わないオーミック電極を備えたIII族窒化物半導体素子を提供することを課題とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明者らは、上記の課題を解決すべく鋭意検討した結果、III族窒化物半導体結晶層上に低転位密度で結晶性に優れるリン化硼素結晶層を設け、該リン化硼素結晶層の表面に接触させてオーミック電極を配置することによって、上記課題を解決することを見出し、本発明を完成するに至った。



## 【0008】

すなわち、本発明は、(1) 結晶基板と、同結晶基板上に気相成長された導電性のIII族窒化物半導体 ( $Al_xGa_yIn_{1-(x+y)}N$ :  $0 \leq x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ , 及び  $0 < x+y \leq 1$ ) 結晶層と、オーミック電極とを具備するIII族窒化物半導体素子であって、前記III族窒化物半導体結晶層と前記オーミック電極との中間に、導電性のリン化硼素結晶層が設けられ、該リン化硼素結晶層に接触させてオーミック電極が備えられていることを特徴とするIII族窒化物半導体素子、(2) 前記III族窒化物半導体結晶層と前記リン化硼素結晶層との中間に、硼素とリンとを含む非晶質層が設けられていることを特徴とする上記(1)に記載のIII族窒化物半導体素子、(3) 前記リン化硼素結晶層が、不純物を故意に添加していないアンドープの導電層から構成されており、且つ前記III族窒化物半導体層と同一の伝導形を呈することを特徴とする上記(1)または(2)に記載のIII族窒化物半導体素子、(4) 前記III族窒化物半導体結晶層の  $\{0.0.0.1.\}$  - 結晶面側に、前記リン化硼素結晶層が設けられており、該リン化硼素結晶層が導電性の  $\{111\}$  - 結晶層であることを特徴とする上記(1)乃至(3)の何れか1項に記載のIII族窒化物半導体素子、(5) 前記リン化硼素結晶層の内部に、リン化硼素結晶層の  $\langle 111 \rangle$  - 結晶方位に積層欠陥、または  $\{111\}$  - 結晶面を双晶面とする双晶が含まれていることを特徴とする上記(1)乃至(4)の何れか1項に記載のIII族窒化物半導体素子、(6) 前記リン化硼素結晶層の内部の貫通転位及びミスフィット転位の合計の密度が  $1 \times 10^4$  個/cm<sup>2</sup> 以下であることを特徴とする上記(1)乃至(5)の何れか1項に記載のIII族窒化物半導体素子、(7) 前記結晶基板上に、前記III族窒化物半導体結晶層と前記リン化硼素結晶層とを、有機金属化学的気相堆積法により形成させることを特徴とする上記(1)乃至(6)に記載のIII族窒化物半導体素子の製造方法、(8) p n 接合型のダブルヘテロ接続構造であることを特徴とする上記(1)乃至(6)に記載のIII族窒化物半導体素子からなる発光ダイオード、を提供する。

## 【0009】

## 【発明の実施の形態】

以下、図を参照しつつ、本発明の実施形態を説明する。なお、この実施形態は本発明の要旨を説明するためのものであり、特に限定のない限り本発明を限定するものではない。

図1は、本発明に係るIII族窒化物半導体素子の一実施形態の断面図を示したものである。

#### 【0010】

図1に示すように、本実施形態のIII族窒化物半導体素子1は、略立方体状の基板101上に、積層構造体11が積層されて構成されている。基板101としては、 $\{0.0.0.1\}$ 結晶面を表面とするサファイア結晶が使用されている。積層構造体11は、n型Ga<sub>0.9</sub>In<sub>0.1</sub>Nからなる下部クラッド層102、n型リン化硼素層103、n型Ga<sub>0.9</sub>In<sub>0.1</sub>Nからなる発光層104、p型Ga<sub>0.9</sub>In<sub>0.1</sub>Nからなる上部クラッド層105、及びp型リン化硼素層106が順次積層されて構成されている。また、発光層104、上部クラッド層105、及びp型リン化硼素層106のそれぞれ一部が連続して除去され、露出されたn型リン化硼素層103の表面の一部に接触させてn型オーミック電極107が設けられている。また、p型リン化硼素層106の表面に接触させてp型オーミック電極108が設けられている。

以上のように、III族窒化物半導体素子1は下部クラッド層102、n型リン化硼素層103及びn型オーミック電極107からなるn型下層部21と、発光層104と、上部クラッド層105、p型リン化硼素層106及びp型オーミック電極108からなるp型上層部20とから構成されている。

上述のような構成のIII族窒化物半導体素子1は、pn接合型2重ヘテロ(DH)構造のLEDとなっている。

#### 【0011】

本実施形態のIII族窒化物半導体素子1は、特に、III族窒化物半導体との格子ミスマッチの大きな単結晶を基板101とし、III族窒化物半導体結晶層である下部クラッド層102を成長させる場合に好適に用いられる。従って、III族窒化物半導体結晶層を成膜させるための基板として、従来の砒化ガリウム(GaAs)、リン化ガリウム(GaP)、立方晶または六方晶の炭化珪素(SiC)、

サファイア ( $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 単結晶) 等の酸化物単結晶、及び珪素 (Si) 単結晶 (シリコン) 等を利用する場合に特に効果的である。III族窒化物半導体結晶層を成長するに好適な温度は一般に高温であるため、耐熱性に優れる SiC、 $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Si 結晶等は基板として好ましい。

#### 【0012】

また、基板 101 としては、例えば、 $\{100\}$  - 或いは  $\{110\}$  - 結晶面を表面とする立方晶閃亜鉛鉱結晶型の単結晶を用いることが好ましい。このような基板 101 を用いると、表面の面方位を  $\{0.0.0.1.\}$  または  $\{1.1.-2.0.\}$  とする III族窒化物半導体結晶層を基板上に堆積させることができる。 $\{0.0.0.1.\}$  または  $\{1.1.-2.0.\}$  結晶面を表面とする III族窒化物半導体層は、後述するリン化硼素層を堆積させるために好適に用いることができる。

#### 【0013】

また、III族窒化物半導体素子 1 の特徴は、n 形または p 形の III族窒化物半導体層 102、105 の双方にリン化硼素層 103、106 を各々、接触させて設けていることにある。リン化硼素層 103、106 は、接触抵抗の特に低いオーミック電極 107、108 を設けるための導電層として機能する。接触抵抗の低い n 形または p 形のオーミック電極を形成するためには、電極を設ける半導体層は、キャリア濃度が  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、更に好ましくは  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  以上である低抵抗結晶層であること、及び基板或いは III族窒化物層からの転位の伝搬を回避して低い転位密度の結晶層であることが望まれる。リン化硼素 (BP) や砒化硼素 (BAs) 等のようなイオン結合性が殆ど無い、共有結晶性の半導体結晶を用いると、キャリア濃度が高い n 形及び p 形の低抵抗の導電層を形成することができる。しかも、これらの化合物半導体結晶では、不純物を故意に添加しないアンドープ (undope) 状態でも、この様な高キャリア濃度の半導体層を形成することができる。

特に、本実施形態の III族窒化物半導体素子 1 の如く、発光層 104 からの発光を外部に取り出す方向 (図 1 に例示する III族窒化物半導体素子 1 にあっては、発光層 104 より上部クラッド層 105 に向かう方向である。) に在るオーミ

ック電極 108 を設ける結晶層 106 は、発光を吸収せずに外部に十分に透過できる禁止帯の大きな結晶層、すなわちリン化硼素結晶層により構成されるのが最善である。さらに、LED においては、外部への発光透過層としての作用を得るためには、より禁止帯幅の大きなリン化硼素は好適な構成材料である。

#### 【0014】

上述のIII族窒化物半導体素子 1 は、以下のようにして製造することができる。まず、基板 101 の表面上に、例えば、有機金属化学的気相堆積法 (MOCVD) 手段に依り窒化ガリウム (GaN) 等のIII族窒化物半導体層を堆積し、下部クラッド層 102 とする。基板表面上にIII族窒化物半導体層を成長させるための別の手段には、ハロゲン (halogen) 法、ハイドライド (hydride) 法や分子線エピタキシャル (MBE) 手段を挙げられる。その後、n 型リン化硼素層 103、n 型  $\text{Ga}_{0.90}\text{In}_{0.10}\text{N}$  からなる発光層 104、p 型 GaN 層からなる上部クラッド層 105、及び p 型リン化硼素層 106 を順次同一の成長手段で形成する。各層 102 ~ 106 を同一の成長手段で形成すると、省力的に簡便に積層構造体を形成することができる。積層構造体 11 の形成を終了した後、その一部である発光層 104、上部クラッド層 105、及び p 型リン化硼素層 106 のそれぞれ一部を連続して除去して n 形リン化硼素層 103 の表面を露出させる。その後、露出させた n 形リン化硼素層 103 の一部領域上に n 形オーミック電極 107 を設け、上部クラッド層 105 上の p 形リン化硼素層 106 の表面に接触させて p 形オーミック電極 108 を配置して、pn 接合型 2 重ヘテロ (DH) 構造の LED であるIII族窒化物半導体素子 1 を製造する。

#### 【0015】

リン化硼素層 103 及び 106 は、上述の気相成長手段により形成できる。例えば、トリエチル硼素 (分子式:  $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{B}$ ) / ホスフィン (分子式:  $\text{PH}_3$ ) を原料とし、常圧 (略大気圧) または減圧 MOCVD 手段により形成できる。具体的には、常圧 MOCVD 手段に依れば、基板温度を約  $1000^\circ\text{C}$  ~  $1200^\circ\text{C}$  の温度とし、且つ成長反応系へ供給する原料の濃度比率 ( $\text{PH}_3 / (\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{B}$ )、所謂、V/III 比率を例えば、約 1000 とすれば、アンドープで p 形のリン化硼素層を形成できる。基板温度を  $750^\circ\text{C}$  ~ 約  $1000^\circ\text{C}$  とす

れば、アンドープでn形のリン化硼素層を得るに好都合となる。伝導形にかかわらず、Ga<sub>2</sub>N等のIII族窒化物半導体層上に形成されたリン化硼素層は、Ga<sub>2</sub>N等のIII族窒化物半導体層に内在するミスフィット転位或いは貫通転位の上層への伝搬を防止する効果がある。

#### 【0016】

上述のIII族窒化物半導体層に内在するミスフィット転位は、例えば、基板101、下部クラッド層102、及びリン化硼素層103を含む部分の断面TEM（透過電子顕微鏡）像により観察することができる。サファイア基板101との格子ミスマッチに起因して、基板101と下部クラッド層102を構成するGa<sub>2</sub>N層との接合界面101aには、多量のミスフィット転位が発生している。Ga<sub>2</sub>N層の層厚の増加に伴い、ミスフィット転位の単位面積あたりの数、所謂、転位密度は減少するものの、リン化硼素層103との接合界面102aの直下の領域では依然、約 $1 \times 10^5$ 個/cm<sup>2</sup>と高密度である。しかし、転位の延在は、リン化硼素層103との接合界面102aで阻止されている。従って、リン化硼素層103の内部へは転位の侵入、伝搬は認められない。即ち、III族窒化物半導体層にヘテロ（異種）接合させたリン化硼素層は、III族窒化物半導体層からの転位の伝搬を阻止する能力を発揮する。

一般に、耐圧不良を顕著に発生させないためには、転位密度を $1 \times 10^4$ 個/cm<sup>2</sup>とすることが好ましいが、本実施形態のIII族窒化物半導体素子1によると、上述のように転位密度が $1 \times 10^4$ 個/cm<sup>2</sup>以下である低転位密度のリン化硼素層を形成することができる。

#### 【0017】

また、下部クラッド層102及び／又は上部クラッド層105に用いられる、例えば、Ga<sub>2</sub>NのようなIII族窒化物半導体結晶層の $\{0.0.0.1.\}$ 一結晶面に接して、 $\{111\}$ －リン化硼素結晶層をリン化硼素結晶層103及び／又は106として設けることが好ましい。

リン化硼素結晶層に好適に成長される閃亜鉛鉱結晶単量体のリン化硼素の格子定数は0.458nmである。その $\{110\}$ －格子面の間隔は、ウルツ鉱結晶型Ga<sub>2</sub>Nのa軸格子定数（0.319nm）と略一致する。また、リン化硼素結

晶の  $\{111\}$  - 格子面の間隔は、ウルツ鉱結晶型 GaN の c 軸格子定数 (0.529 nm) の半値と略一致する。従って、GaN の  $\{0.0.0.1.\}$  - 結晶表面上に形成される  $\{111\}$  - リン化硼素結晶層は、特に、格子のミスマッチに起因するミスフィット転位の少ない良質な結晶層となる。

#### 【0018】

更に、 $\langle 111 \rangle$  - 結晶方位に沿って積層欠陥 (stacking fault) を含むリン化硼素層は、特にミスフィット転位の少ない良質のリン化硼素結晶層として利用できる。また、 $\{111\}$  - 結晶面を双晶面とする  $\{111\}$  - 双晶を含むリン化硼素層も好適に使用できる。積層欠陥或いは双晶がミスフィット転位を吸収する作用を有するため、リン化硼素層の内部には、転位は殆ど発生せず、局所的な耐圧不良 (local breakdown) を起こさないオーミック電極を形成することができる。積層欠陥或いは双晶を含むリン化硼素層は、750℃～1200℃の基板温度範囲で、それを成長させる速度 (成長速度) を、毎分 10 nm 以上に設定するのが好適である。

#### 【0019】

なお、本実施形態には設けられていないが、III族窒化物半導体結晶層とリン化硼素結晶層の間に、硼素とリンとを含む非晶質層を設けることができる。硼素とリンとを含む非晶質層を設けることにより、連続性のあるリン化硼素層を得ることができる。非晶質層を構成する硼素やリンが、リン化硼素結晶層を形成するに際し、「成長核」を提供することとなり、リン化硼素結晶層の円滑な成長促進に貢献できるからである。このとき、非晶質層の層厚は、2～50 nm であることが好ましい。層厚が 50 nm を超えると単結晶のリン化硼素結晶層の形成が阻害され好ましくない。また、2 nm 未満の層厚では、III族窒化物半導体層の表面の全面を均等に被覆するに至らず、即ち、III族窒化物半導体層の表面に均一に「成長核」を形成できず、連続性のある平坦な表面のリン化硼素層を安定して得ることができないため好ましくない。硼素とリンとを含む非晶質層は、例えば、MOCVD 手段により、温度 250℃～1200℃の範囲に於いて、V/II 比率を 2～50 の低比率とすることにより得られる。非晶質層であるか否かは、X線または電子線回折法等に依り調査できる。また、その層厚は例えば、断面

TEM技法等に依り正確に実測できる。

#### 【0020】

オーミック電極を設置して設けるリン化硼素層の伝導形は、リン化硼素層に接合するIII族窒化物半導体層の伝導形と同一とする。例えば、n形III族窒化物半導体層に接合させて設けたn形リン化硼素層に接触させてn形オーミック電極を設ける。

#### 【0021】

次に、第二実施形態を示す。本実施形態では上層部20が図2に示すような構成となっている。具体的には、n形のIII族窒化物半導体層112上に設けられたp形リン化硼素層111に接合し、且つn形のIII族窒化物半導体層112にも接合する様に設けられたn形リン化硼素層110に接触させて、n形オーミック電極107が設けられている。

この構成では、p形リン化硼素層111とn形リン化硼素層110とのpn接合に依り、n形オーミック電極107から、直下のn形III族窒化物半導体層112への素子動作電流の短絡的な流通が阻止され、n形III族窒化物半導体層112の広範囲に亘り、平面的に動作電流を拡散できる利点がある。この様なp形及びn形リン化硼素層との接合構成に依る電流狭窄構造を備えたオーミック電極107は、III族窒化物半導体LDを構成するに優位に利用できる。低接触抵抗のオーミック電極や電流狭窄作用を発揮させるには、リン化硼素層の層厚は50nm以上が好ましい。また、500nm以下とするのが好ましい。

また、リン化硼素層111、リン化硼素層110、オーミック電極107、及びIII族窒化物半導体層112の伝導形は本実施形態と逆になっていてもよい。

#### 【0022】

##### 【実施例】

以下本発明の実施例を説明するが、本発明の範囲はこれらの実施例に限定されるものではない。

#### 【0023】

##### (第1実施例)

本実施例では、窒化ガリウム(GaN)層とリン化硼素層とのヘテロ接合を備

えたLEDを製造した。図3に、本実施例のLED2の断面模式図を示す。図3に於いて、図1または図2に記載したのと同じ構成要素については、同一の符号を振って掲示してある。

#### 【0024】

基板101として、 $(0.0.0.1.)$  - 結晶面を表面とするサファイア単結晶を用い、 $(0.0.0.1.)$  表面上に、トリメチルガリウム  $((\text{CH}_3)_3\text{Ga})$  / アンモニア  $(\text{NH}_3)$  原料系常圧MOCVD手段に依り、n形GaN層である下部クラッド層102を堆積した。これにより、 $\{0.0.0.1.\}$  - 結晶面を表面とする窒化ガリウム (GaN) 層が得られた。下部クラッド層102の層厚は  $2.8 \times 10^{-4} \text{ cm}$  ( $= 2.8 \mu\text{m}$ ) で、キャリア濃度は  $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  であった。

#### 【0025】

下部クラッド層102上には、硼素とリンとを含むアンドープの非晶質層109を堆積した。非晶質層109は、 $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{B} / \text{PH}_3 / \text{H}_2$  系常圧MOCVD手段を用いて  $1025^\circ\text{C}$  で堆積した。層厚は  $12 \text{ nm}$  とした。非晶質層109上には、 $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{B} / \text{PH}_3 / \text{H}_2$  系常圧MOCVD手段を用いてリン化硼素結晶層103を  $1025^\circ\text{C}$  で堆積した。リン化硼素層103は、アンドープでキャリア濃度を  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  とするn形層で、その層厚は  $150 \text{ nm}$  とした。

#### 【0026】

リン化硼素層103上には、 $(\text{CH}_3)_3\text{Ga} / \text{トリメチルインジウム}$  (分子式:  $(\text{CH}_3)_3\text{In}$ ) /  $\text{NH}_3 / \text{H}_2$  系常圧MOCVD手段に依り、 $\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}$  からなる発光層104を  $850^\circ\text{C}$  で気相成長させた。その層厚は  $50 \text{ nm}$  とし、キャリア濃度は約  $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  とした。発光層104上には、上記の  $(\text{CH}_3)_3\text{Ga} / \text{NH}_3 / \text{H}_2$  常圧MOCVD手段でp形GaNからなる上部クラッド層105を気相成長させた。上部クラッド層105の層厚は  $150 \text{ nm}$  とした。上部クラッド層105をなすGaN層のキャリア濃度は約  $6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  とした。

#### 【0027】



上部クラッド層 105 の成長を終了した後、積層体を構成する下部クラッド層 102、非晶質層 109、リン化硼素層 103、及び発光層 104 の内部の結晶学的構造を断面 TEM 技法に依り調査した。制限視野電子線回折技法から、基板 101 の (0. 0. 0. 1.) - サファイア結晶面上に設けた下部クラッド層 102 (Ga N 層) は {0. 0. 0. 1.} - 結晶層であり、また、下部クラッド層 102 (Ga N 層) 上のリン化硼素層 103 は、{111} - 結晶層であった。また、高分解能明視野コントラスト像では、サファイア基板 101 との接合界面 101 a の近傍の下部クラッド層 102 には、約  $5 \times 10^{11}$  個/cm<sup>2</sup> の多量のミスフィット転位が存在しているのを示した。下部クラッド層 102 の非晶質層 109 との接合界面 102 a の近傍の領域では、転位密度は約  $5 \times 10^9$  個/cm<sup>2</sup> に減少していた。また、下部クラッド層 102 からの転位は、非晶質層 109 との接合界面 102 a で、非晶質層 109 及びリン化硼素層 103 の内部への侵入を阻止されていた。このため、リン化硼素層 103 にはミスフィット転位は殆ど認められなかった。一方で、リン化硼素層 103 の内部には、{111} - 結晶方位に沿った積層欠陥或いは双晶が存在した。これらの積層欠陥または双晶は、下部クラッド層 102 との接合界面 102 a から発生していた。これらの積層欠陥或いは双晶に因り転位が吸収されるため、リン化硼素層 103 の内部には転位が殆ど無くなるものと判断された。

#### 【0028】

また、リン化硼素層 103 の積層欠陥または双晶は一部、上層の Ga<sub>0.90</sub>In<sub>0.10</sub>N 発光層 104 の内部に侵入していた。しかし、{111} - リン化硼素層 103 の表面に交差する {110} - 結晶面の格子面間隔と、発光層 104 をなす Ga<sub>0.90</sub>In<sub>0.10</sub>N の a 軸格子定数との整合性の良好さから、発光層 104 の内部には転位の存在は殆ど認められなかった。

#### 【0029】

次に、上部クラッド層 105 をなす Ga N 層と発光層 104 の一部の領域を選択パターニング技術及びプラズマエッチング技術を利用して削除した。これより、n 形リン化硼素層 103 の表面を露出させた。次に、露出させた n 形リン化硼素層 103 の表面に、金・ゲルマニウム合金 (Au 95 重量%・Ge 5 重量%)

からなる n 形オーミック電極 107 を配置した。Au・Ge オーミック電極 107 の接触抵抗は約  $6 \times 10^{-6} \Omega / \text{cm}^2$  に低減された。因みに、同様のキャリア濃度の n 形 GaN 層に直接、接触して設けた Au・Ge オーミック電極の接触抵抗は大凡、 $10^{-3} \Omega / \text{cm}^2$  程度であった。一方、残置させた上部クラッド層 105 の表面には、酸化ニッケル (NiO) / 金 (Au) 重層構造の p 形オーミック電極 108 を設けて、pn 接合型 DH 構造の LED2 を構成した。

### 【0030】

n 形及び p 形のオーミック電極 107、108 との間に順方向に 20 ミリアンペア (mA) の動作電流を通流して、一辺が約  $3.5 \times 10^{-2} \text{cm}$  の正方形に裁断した LED チップ 2 の発光特性を確認した。以下に得られた発光特性を纏める。

- (1) 発光色：青紫
- (2) 発光中心波長：約 430 (nm)
- (3) 輝度 (チップ状態)：約 7 (mcd)
- (4) 順方向電圧：約 3.8 (V) (但し、順方向電流を 20 mA とした場合)
- (5) 逆方向電圧：12 V (但し、逆方向電流を  $10 \mu\text{A}$  とした場合)

また、n 形オーミック電極 107 を低い転位密度のリン化硼素層 103 に接触させて設けたため、下部の GaN 層への短絡的な動作電流の流通が回避され、動作電流を下部クラッド層 102 に広範囲に拡散できた。このため、LED2 では、発光層 104 の略全面から発光がもたらされているのが近視野発光像からも確認された。

### 【0031】

#### (第 2 実施例)

本実施例では、n 形及び p のオーミック電極の双方をリン化硼素層上に配置して LED を製造した。

図 4 に本実施例の LED3 の断面模式図を示す。図 1 乃至 3 の何れかに記載の構成要素と同一の構成要素については、同一の符号を付して掲示する。

### 【0032】

第 1 実施例の記載と同一の条件で、(0.0.0.1.)-サファイア基板 1

01 上に、第1実施例に記載の各層102～105を順次、堆積した。然る後、p形上部クラッド層105上に、アンドープでn形のリン化硼素層110を堆積した。n形リン化硼素層110は、 $(C_2H_5)_3B/PH_3/H_2$ 系常圧MOCVD手段を用いて850℃で堆積した。キャリア濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ とし、層厚は120 nmとした。n形リン化硼素層110の成長を終了した後、p形オーミック電極108を形成する予定の直下の領域に限り、n形リン化硼素層110を円形に残存させた。残存させたn形リン化硼素層110の平面積は、円形のp形オーミック電極108の底面積に対して1.2倍とした。p形オーミック電極108を形成する予定の領域外のn形リン化硼素層110はプラズマエッチング手段により除去し、下層のp形上部クラッド層105の表面を露出させた。

#### 【0033】

その後、残存させたn形リン化硼素層110及び露出させたp形上部クラッド層105の表面を被覆する様に、アンドープのp形リン化硼素層111を堆積した。p形リン化硼素層111も上記と同一のMOCVD手段により1025℃で成長させた。p形リン化硼素層111のキャリア濃度は $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ とし、層厚は200 nmとした。

#### 【0034】

次いで、n形オーミック電極108を形成する予定の領域に限りp形リン化硼素層111、上部クラッド層105、及び発光層104を選択パターニング技術及びプラズマエッチング技術に依り除去した。除去した後、露出させたn形リン化硼素層103の表面にAu・Ge合金のn形オーミック電極107を設けた。また、残置させたn形リン化硼素層110の上方には、p形リン化硼素層111の表面に接触させて金・ベリリウム合金(Au99重量%・Be1重量%)からなる直径が $1.3 \times 10^{-2} \text{ cm}$  ( $=130 \mu\text{m}$ )の円形のp形オーミック電極108を設けた。円形p形オーミック電極108は、残存させたn形リン化硼素層110の中心に一致させて設けた。これより、pn接合型DH構造のLED3を構成した。p形オーミック電極108の接触抵抗は $5 \times 10^{-6} \Omega/\text{cm}^2$ となった。

## 【0035】

電子線回折法及び断面TEM技法を利用した観察に依れば、上部クラッド層105をなすp形GaN層の表面に接合させて設けたn形リン化硼素層110、n形リン化硼素層110に接合させたp形リン化硼素層111の内部には、ミスフィット転位は殆ど認められず、転位密度は明らかに $1 \times 10^4$ 個/cm<sup>2</sup>以下であった。一方で、リン化硼素の<111>-結晶方向に平行に積層欠陥(stacking fault)や双晶の存在していた。従って、n形及びp形オーミック電極107、108は、ミスフィット転位の極めて低いリン化硼素層103、111に形成されるものとなった。

## 【0036】

n形及びp形のオーミック電極107、108との間に順方向に20ミリアンペア(mA)の動作電流を通流して、一辺を約 $4.0 \times 10^{-2}$ cmとする正方形のLEDチップ3の発光特性を確認した。以下に得られた発光特性を纏める。

- (1) 発光色: 青紫
- (2) 発光中心波長: 約440 (nm)
- (3) 輝度(チップ状態): 約9 (mcd)
- (4) 順方向電圧: 約3.6 (V) (但し、順方向電流を20mAとした場合)
- (5) 逆方向電圧: 15 V (但し、逆方向電流を10  $\mu$ Aとした場合)

## 【0037】

n形及びp形オーミック電極107、108の双方を低転位密度のリン化硼素層103、111に接触させて設ける構成としたので、LED3は局所的な耐圧不良も発生させない特に、耐圧特性に優れるものとなった。また、p形オーミック電極108の下方には、n形及びp形のリン化硼素層110、111からなるpn接合構造を埋設する構成としたので、p形オーミック電極108から直下の上部クラッド層105への短絡的な流通が回避され、併せて、p形クラッド層105の略全面に敷設したp形リン化硼素層111を介して動作電流は上部クラッド層105の略全面に拡散できた。このため、LED3の発光層104の略全面から発光が得られることとなった。更に、p形オーミック電極108を設けるリン化硼素層111は、室温で約3.0 eVの禁止帯幅を有するため、発光層10

4 からの発光を遮蔽せず、外部に十分に透過するに効果的であった。

### 【0038】

#### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明のIII族窒化物半導体素子には、III族窒化物半導体結晶層とオーミック電極の中間に、リン化硼素結晶層が設けられているため、III族窒化物半導体結晶層から伝搬する転位の侵入を阻止したり、或いは転位を吸収したりすることができる。従って、リン化硼素結晶層に接触させてオーミック電極を設けることにより、局所的な耐圧不良が少なく、且つ接触抵抗の低いオーミック電極が形成でき、耐圧特性に優れるIII族窒化物半導体発光素子を提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明のIII族窒化物半導体素子の一実施形態を示す断面図である。

【図2】 本発明のIII族窒化物半導体素子の上層部の第二実施形態を示す断面図である。

【図3】 第1実施例に記載の発光ダイオードの断面模式図である。

【図4】 第2実施例に記載の発光ダイオードの断面模式図である。

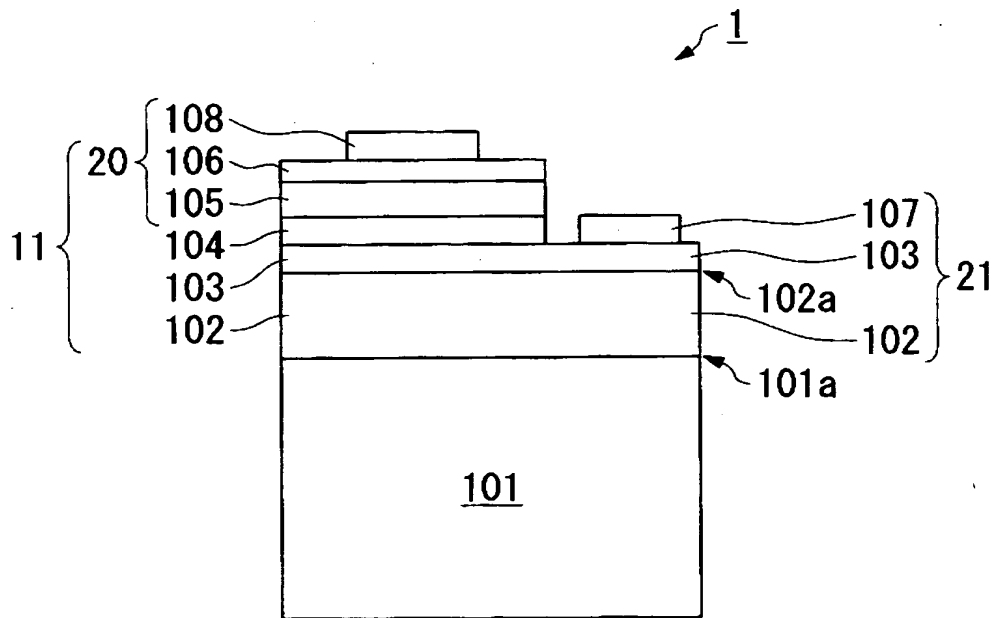
#### 【符号の説明】

1・・・III族窒化物半導体素子、11・・・積層構造体、20・・・上層部、21・・・下層部、101・・・基板、102・・・下部クラッド層、103、106、110、111・・・リン化硼素層、104・・・発光層、105・・・上部クラッド層、107、108・・・オーミック電極、109・・・非晶質層

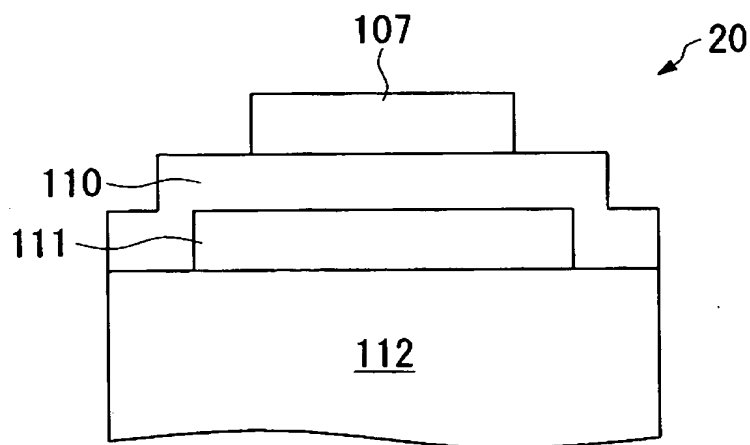
【書類名】

図面

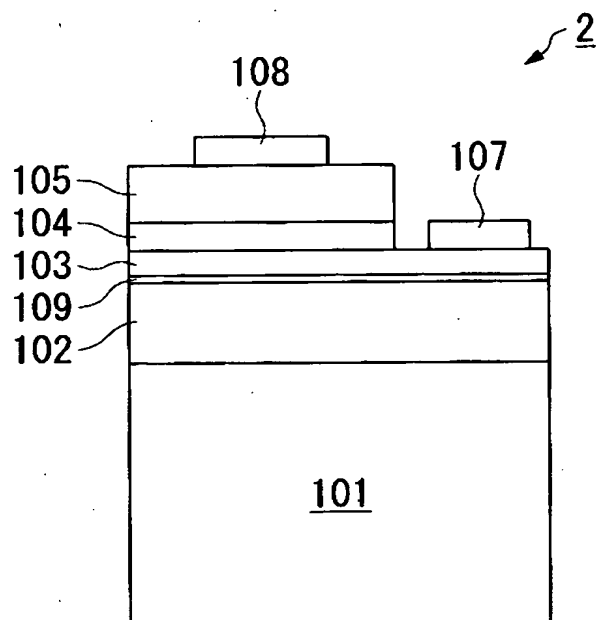
【図 1】



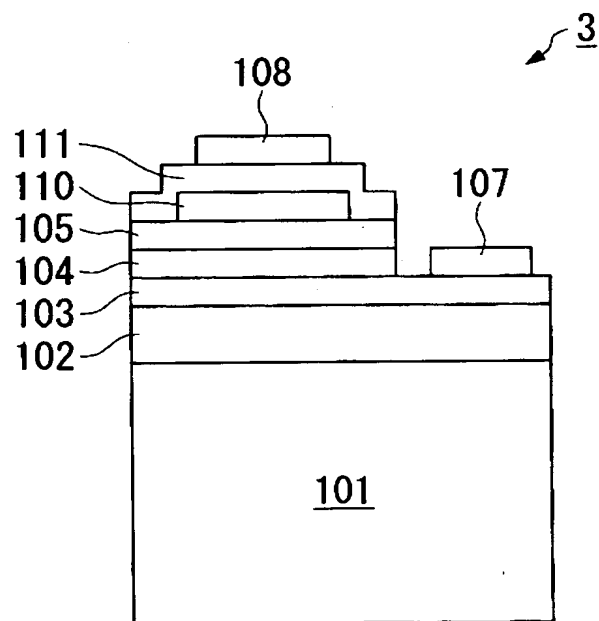
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 接触抵抗が低く、局所的な耐圧不良を伴わないオーミック電極を備えたIII族窒化物半導体素子を提供すること。

【解決手段】 結晶基板と、同結晶基板上に気相成長された導電性のIII族窒化物半導体 ( $\text{Al}_X\text{Ga}_Y\text{In}_{1-(X+Y)}\text{N}$ :  $0 \leq X < 1$ ,  $0 < Y \leq 1$ , 及び  $0 < X + Y \leq 1$ ) 結晶層と、オーミック電極とを具備するIII族窒化物半導体素子であって、前記III族窒化物半導体結晶層と前記オーミック電極との中間に、導電性のリン化硼素結晶層が設けられ、該リン化硼素結晶層に接触させてオーミック電極が備えられていることを特徴とするIII族窒化物半導体素子。

【選択図】 図1。



## 認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2002-306722
受付番号	50201586265
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0094
作成日	平成 14 年 10 月 23 日

## &lt; 認定情報・付加情報 &gt;

## 【特許出願人】

【識別番号】 000002004

【住所又は居所】 東京都港区芝大門 1 丁目 13 番 9 号

【氏名又は名称】 昭和電工株式会社

## 【代理人】

申請人

【識別番号】 100064908

【住所又は居所】 東京都新宿区高田馬場 3 丁目 23 番 3 号 ORビ  
ル 志賀国際特許事務所

【氏名又は名称】 志賀 正武

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100108578

【住所又は居所】 東京都新宿区高田馬場 3 丁目 23 番 3 号 ORビ  
ル 志賀国際特許事務所

【氏名又は名称】 高橋 詔男

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100089037

【住所又は居所】 東京都新宿区高田馬場 3 丁目 23 番 3 号 ORビ  
ル 志賀国際特許事務所

【氏名又は名称】 渡邊 隆

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100101465

【住所又は居所】 東京都新宿区高田馬場 3 丁目 23 番 3 号 ORビ  
ル 志賀国際特許事務所

【氏名又は名称】 青山 正和

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100094400

【住所又は居所】 東京都新宿区高田馬場 3 丁目 23 番 3 号 ORビ  
ル 志賀国際特許事務所

次頁有

認定・付加情報 (続き)

【氏名又は名称】	鈴木 三義
【選任した代理人】	
【識別番号】	100107836
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	西 和哉
【選任した代理人】	
【識別番号】	100108453
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	村山 靖彦

次頁無

特願 2002-306722

出願人履歴情報

識別番号

[000002004]

1. 変更年月日  
[変更理由]

1990年 8月27日  
新規登録

住 所  
氏 名

東京都港区芝大門1丁目13番9号  
昭和電工株式会社